

**Perancangan Sistem Jendela dan Kipas Otomatis sebagai Bantuan untuk Orang-Orang
dalam Ruang Berasap Menggunakan Logika Fuzzy**
*Design of Automatic Window and Fan as An Aid for People inside Room Filled with
Smoke Using Fuzzy Logic*

Fachry Hamdani¹, Erwin Susanto,S.T.,M.T., Ph.D.², Porman Pangaribuan, Ir., M.T.³

Jurusan Teknik Elektro – Fakultas Teknik Elektro – Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

(ksatmata@gmail.com)¹,(ews@telkomuniversity.ac.id)²,(porpangrib@yahoo.co.id)³

ABSTRAK

Kebakaran merupakan bencana yang sudah sering terjadi di berbagai lokasi. Selain merusak benda-benda yang terbakar, kebakaran juga menghasilkan asap yang beracun bagi manusia. Asap yang dihisap menghasilkan korban lebih banyak dalam kebakaran daripada api itu sendiri. Diperlukan perangkat yang dapat mengeluarkan asap ketika ada orang di ruangan agar orang dapat bernafas tanpa menghirup asap beracun.

Perangkat ini berfungsi mengeluarkan asap dalam ruangan ketika mendeteksi orang. Pendeteksi asap yang digunakan untuk mengukur ketebalan asap terdiri dari LED dan fotodiode, dimana LED diarahkan ke fotodiode dengan kemiringan 17,5°. Cahaya yang dihasilkan LED akan terhalang asap sehingga intensitas cahaya yang diterima fotodiode berkurang dan nilai tegangan pada fotodiode bertambah. Cara Kerja sistem ini secara keseluruhan dibagi menjadi dua tahap. Pertama, ketika asap terdeteksi, alarm yang berupa *buzzer* akan berbunyi dan jendela secara otomatis terbuka. Kedua, ketika ada orang yang terdeteksi, perangkat akan menghasilkan kecepatan kipas berdasarkan ketebalan asap dan jarak orang menggunakan logika *fuzzy*.

Perangkat ini dapat menghasilkan kecepatan kipas sesuai yang diinginkan dengan akurasi 98,765%. Perangkat ini juga dapat mengeluarkan asap dari miniatur ruangan dengan rata-rata waktu yang cukup singkat 11,8 detik.

Kata Kunci: *fuzzy logic*, pendeteksi asap, LED, fotodiode, kipas angin, asap

ABSTRACT

Fire is an incident that frequently occurred in many locations. Besides burning and destroyed many objects, fire also produces poisonous smoke. Smoke inhalation resulted in more victims than burns in fire. A device to exhaust smoke from inside a room when there is a person is required, so he could breath without inhaling poisonous smoke.

This device could exhaust smoke inside a room when it detects person. Smoke detector that is used to measure the thickness of some consist of LED and photodiode, where LED is directed to fotodiode that is tilted 17.5°. Light produced by LED will be blocked by smoke, so intensity of light received by photodiode decreased and the voltage value on photodiode decreased. There are two steps to execute in this system. First, when smoke is detected, buzzer will produce sound and window will open automatically. Second, when a person or people detected, device will produce the speed of fan based of smoke thickness and distance between the person and device by using fuzzy logic.

This device produced speed of fan that is consistent with the desired result and has accuracy of 98,765%. It could exhaust smoke from a miniature of a room within average time of 11,8 seconds.

Keywords: *fuzzy logic*, smoke detector, LED, photodiode, fan, smoke

1. Pendahuluan

Kebakaran merupakan bencana yang sudah sering terjadi di berbagai lokasi. Selain merusak benda-benda yang terbakar, kebakaran juga menghasilkan asap yang beracun bagi manusia. Ketika kebakaran terjadi di dalam gedung, asap yang ditimbulkan terperangkap di dalamnya karena jendela yang tertutup. Asap tersebut dapat terdiri dari berbagai macam zat berbahaya, seperti karbon monoksida, sianida, dll. Zat yang paling berbahaya dari zat-zat tersebut adalah karbon monoksida yang dapat membuat orang kehilangan kesadaran. Sekitar 50-80% orang meninggal karena menghirup asap daripada terbakar.^[1] Asap yang berada dalam ruangan memperpendek jarak penglihatan sehingga

orang-orang tidak bisa melihat jalan keluar yang harus mereka capai.

Berbagai sistem telah dibuat untuk menolong orang ketika terjadi kebakaran. Sistem tersebut adalah pendeteksi asap, *fire sprinkler*, pendeteksi api, dll. Masing-masing sistem memiliki fungsi masing-masing yang berbeda, tapi belum ada sistem yang dapat mengeluarkan asap tanpa bergantung dengan listrik di gedung.

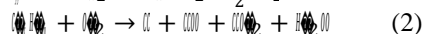
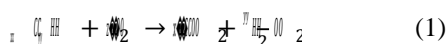
Diperlukan sebuah sistem atau perangkat yang dapat membantu orang-orang yang terperangkap dalam kebakaran. Sistem tersebut harus memiliki catuan sendiri dan hanya mengeluarkan asap ketika ada orang dalam ruangan. Sistem tersebut berfungsi membantu orang-orang yang terperangkap dalam kebakaran mencari jalan keluar dengan

mengeluarkan asap dari ruangan dan membuat orang dapat bertahan hidup sampai bantuan datang dengan kipas angin yang membuang asap keluar ruangan.

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini. Untuk memahami dan mendalami teori metode logika *fuzzy* dan sensor-sensor yang akan digunakan pada penelitian perlu dilakukan studi literatur dari buku, jurnal ilmiah, dll. Perancangan perangkat keras dengan membagi sistem menjadi tiga bagian, yaitu perancangan pendeteksi asap, jendela otomatis, dan sistem kipas angin otomatis. Perancangan perangkat lunak berupa algoritma logika *fuzzy* dilakukan agar dapat memproses masukan dan keluaran dalam sistem ini. Implementasi perangkat keras dengan menggabungkan ketiga bagian menjadi satu sistem. Implementasi algoritma yang dibuat dalam pemrograman C. Pengujian dari sistem dilakukan dan hasil tersebut dianalisis. Dari hasil analisis sebelumnya didapatkan kesimpulan dan saransaran untuk penelitian selanjutnya.

2.1 Asap

Asap merupakan campuran gas, *particulates* cair dan padat^[2] di udara yang dihasilkan ketika benda mengalami pembakaran atau pirolisis. Pembakaran terbagi menjadi dua, pembakaran sempurna dan pembakaran tidak sempurna. Asap tidak hanya berasal dari kebakaran yang memerlukan api, tapi juga dapat berasal dari penguapan air yang membutuhkan suhu tinggi tanpa adanya api. Contoh, ketika membakar sate asap yang dihasilkan semakin besar setelah kita kipas. Asap tersebut dihaikan karena penguapan bumbu-bumbu sate yang menempel pada arang. Selain itu ketika melakukan pemadaman api, asap yang dihasilkan semakin besar karena terjadi penguapan air yang menempel lokasi yang terbakar, air tersebut memadamkan api, tetapi suhu yang panas di lokasi membuat air tetap menguap dan membuat asap.



Persamaan 2.1 adalah persamaan kimia dari pembakaran sempurna dan persamaan 2.2 adalah persamaan kimia dari pembakaran tidak sempurna.^[3] Kedua pembakaran tersebut menghasilkan uap air yang berupa gas sebagai asap, tetapi pembakaran tidak sempurna menghasilkan gas karbon monoksida yang berbahaya bagi tubuh manusia.

2. Pendeteksi Asap

Pendeteksi asap berfungsi mendeteksi adanya asap dalam ruangan dan biasa digunakan sebagai indikator terjadinya kebakaran. Asap dideteksi secara optik (*photoelectric*) atau berdasarkan proses fisik (ionisasi). Pendeteksi asap digunakan di berbagai rumah di Amerika Serikat sebagai peringatan terhadap penghuninya ketika terjadi kebakaran. Dalam pendeteksi asap terdapat alat untuk menghasilkan suara seperti *speaker* atau

buzzer yang berfungsi memperingatkan orang ketika ada kebakaran.

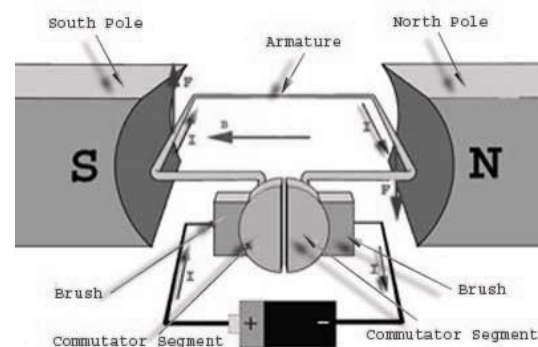
Prinsip kerja pendeteksi asap *photoelectric* beroperasi berdasarkan perubahan cahaya dalam ruang pendeteksi yang disebabkan oleh asap dengan ketebalan tertentu. Salah satu prinsip kerja tipe *photoelectric* adalah *light scattering*. Prinsip kerja ini banyak digunakan pendeteksi asap saat ini. Perangkat terdiri dari *light-emitting diode* (LED) sebagai sumber cahaya dan fotodiode sebagai penerima cahaya. LED diarahkan ke area yang tidak terlihat oleh fotodiode. Jika asap masuk, maka cahaya akan dipantulkan ke fotodiode sehingga menyebabkan pendeteksi bereaksi.^[4]

Prinsip kerja *photoelectric* yang lain adalah *light obscuration*. Prinsip ini bekerja dengan memanfaatkan asap untuk menghalangi cahaya. Ketika tidak ada asap, cahaya dari LED akan dideteksi oleh fotodiode dan ketika ada asap, cahaya tersebut akan terhalang sehingga tidak terdeteksi fotodiode.^[4]

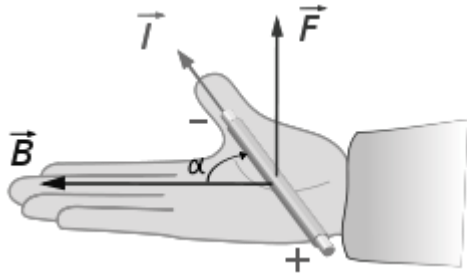
3. Kipas Angin

Kipas angin adalah mesin yang menghasilkan aliran udara. Sebagian besar kipas angin digerakkan oleh motor listrik, tapi terdapat sumber tenaga lain yang dapat digunakan seperti motor hidraulik dan mesin dengan pembakaran menggunakan bahan bakar. Kipas angin berfungsi sebagai pendingin mesin, ventilasi, membuang debu, mengeringkan, dll.

Kipas angin listrik bekerja menggunakan motor. Kipas Angin bekerja menggunakan motor listrik DC. Motor listrik DC diilustrasikan memiliki kawat angker listrik (*armature*) dengan bentuk persegi panjang. Pada kedua ujung kawat angker terdapat komutator berbentuk lingkaran yang terbelah ditengahnya atau disebut juga sebagai cincin belah. Cincin belah merupakan bagian dari *armature* yang ikut berputar dengannya. Stator terdiri dari dua magnet dengan kutub berbeda yang saling berhadapan. Pada bagian yang terhubung dengan cincin belah, stator memiliki sikat (*brush*) karbon yang menghubungkan arus listrik antara sumber tegangan dan kawat angker.^[12] Prinsip kerja ini sesuai dengan kaidah tangan kanan gaya Lorentz seperti pada gambar 2.



Gambar 1. Motor listrik DC



Gambar 2. Kaidah tangan kanan gaya Lorentz

$$\vec{F} = \vec{I} \times \vec{B} \quad (3)$$

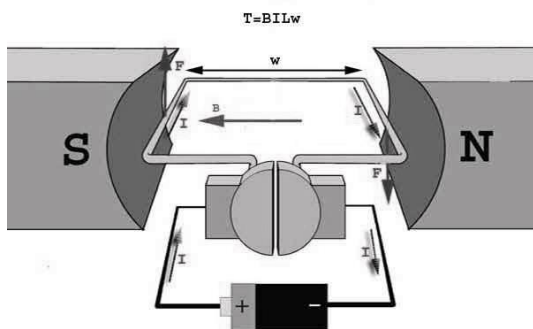
Dimana:

F = Gaya Lorentz (Newton)

B = Medan Magnet (Tesla)

I = Arus listrik (Ampere)

L = Panjang Kawat (Meter)



Gambar 3. Kaidah Lorentz pada motor listrik DC

Pada gambar 3 dihasilkan gaya Lorentz berdasarkan arah arus dan medan magnet dari magnet kutub utara ke selatan. Pada kawat bagian kiri, gaya yang dihasilkan mengarah ke atas sehingga dan mengarah ke bawah pada kawat bagian kanan. Hal ini membuat *armature* berputar ke kanan. Posisi kawat akan tertukar setelah *armature* berputar melewati 90°, tetapi *armature* akan tetap berputar ke arah kanan setelah melewati sudut berdasarkan kaidah gaya Lorentz. Proses ini akan berlangsung terus-menerus selama diberikan arus listrik. Gaya yang dihasilkan pada proses ini bergantung pada besar arus listrik yang masuk ke kawat anker berdasarkan persamaan 1 sehingga *armature* akan berputar lebih cepat jika arus yang masuk semakin besar. Kipas Angin yang dirancang untuk penelitian ini menggunakan motor DC *brushless* dan ESC.

4. Logika Fuzzy

Logika Fuzzy merupakan salah satu metode kontrol yang populer digunakan di industri sekarang ini. Metode ini diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh, bukan sebagai sebuah metode kontrol melainkan sebagai cara memproses data.^[7] Kemudian metode ini berkembang sebagai metode kontrol modern yang digunakan diberbagai bidang. Metode ini mencerminkan sebuah proses pengambilan keputusan manusia, dan pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan nilai yang tidak pasti atau sebuah perkiraan. Metode ini tidak memerlukan persamaan dari suatu *plant* yang akan dikontrol

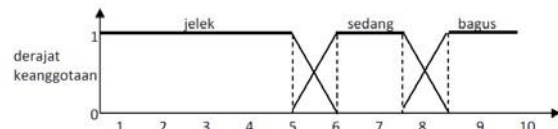
sehingga membuatnya mudah dimengerti dan digunakan oleh banyak orang. Dalam memberikan sebuah keputusan, metode ini memiliki nilai nol, satu, dan di antara nol dan satu. Proses yang dilakukan pada metode ini adalah *fuzzification*, penentuan aturan *fuzzy* metode implikasi, dan *defuzzification*.

Dalam proses *fuzzification* terdapat beberapa hal yang harus ditentukan terlebih dahulu, yaitu himpunan *fuzzy*, fungsi keanggotaan, variabel linguistik.

Fuzzy set atau himpunan *fuzzy* merupakan himpunan nilai yang akan dijadikan masukan dan keluaran pada *fuzzy rule*. Himpunan ini menggunakan derajat dalam menilai keanggotaan suatu elemen dalam suatu himpunan (Jang, Sun, dan Mizutani, 2004).^[7]

$$\mathbb{U} = \{(\text{●}, \text{●}, \text{●}) \mid \mu \in \mathbb{I}\} \quad (4)$$

Membership function merupakan fungsi dari setiap himpunan *fuzzy* yang ada dan nilai yang terdapat pada semua fungsi ini berada pada rentang nol sampai satu. Nilai tersebut disebut derajat keanggotaan. Derajat keanggotaan menentukan seberapa dekat nilai terhadap derajat keanggotaan himpunan yang sempurna, dimana nilai derajat keanggotaan yang sempurna adalah satu. Fungsi ini berbentuk sebuah kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik data masukan ke dalam nilai keanggotaannya (Jang, Sun, dan Mizutani, 2004).^[7] Bentuk fungsi ini terdiri dari lima bentuk, yaitu segitiga, trapesium, *gaussian*, lonceng, dan *sigmoidal*. Variabel linguistik merupakan cara mendefinisikan himpunan *fuzzy* dengan variabel yang berupa kata atau kalimat seperti yang terdapat pada gambar 4.



Gambar 4. Himpunan Fuzzy Nilai Ujian^[7]

Fuzzy rule merupakan aturan yang dibuat pada sistem *fuzzy* dalam memberikan solusi untuk setiap masalah yang dihadapi. Bentuk aturan *fuzzy* adalah persamaan implikasi *IF THEN*. Dalam aturan ini, keluaran yang diambil berdasarkan satu atau dua himpunan *fuzzy*. Untuk aturan dengan dua masukan tersebut untuk menentukan keluaran sistem *fuzzy*.

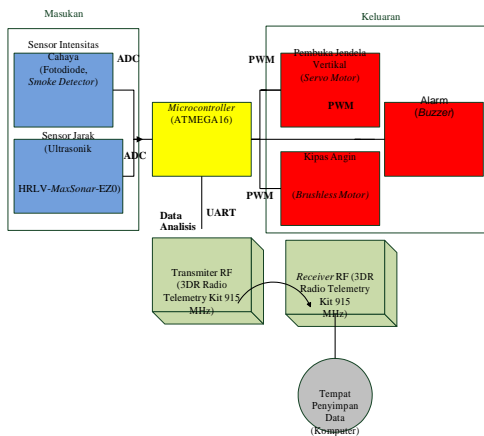
Metode untuk mendapatkan keluaran dari sistem *fuzzy* ini adalah sebuah metode implikasi. Metode ini menentukan keluaran yang diambil berdasarkan masukan suatu himpunan *fuzzy* tertentu. Metode yang sering digunakan adalah metode Mamdani dan Sugeno.

Defuzzification merupakan proses merubah suatu nilai pada himpunan *fuzzy* menjadi nilai pada himpunan *crisp*. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan proses ini. Metode tersebut adalah *centroid*, *bisector*, *mean of maximum*, *weighted average*, *mean-max membership*, dll.

5. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik merupakan sensor jarak yang bekerja seperti gelombang ultrasonik yang berfrekuensi di atas 20 kHz. Pada umumnya sensor ultrasonik menghasilkan gelombang suara dengan frekuensi 40kHz.^[10] Jarak diukur berdasarkan jangka waktu yang dibutuhkan antara sinyal yang dikirim untuk mencapai objek dan gema yang dihasilkan untuk kembali ke sensor dan kecepatan gelombang suara sebesar 340 m/s. Jarak yang terukur diubah menjadi besar tegangan yang dapat diproses oleh perangkat elektronik yang lain.

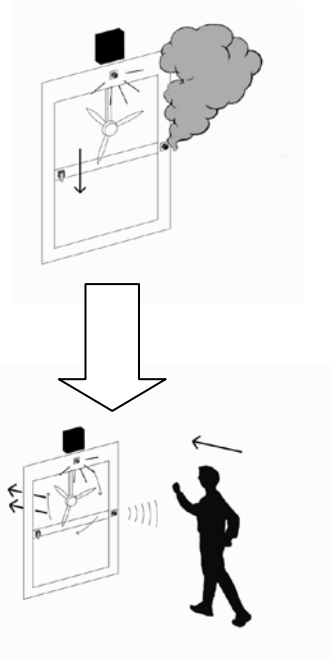
6. Model Sistem



Gambar 5. Diagram Blok Sistem

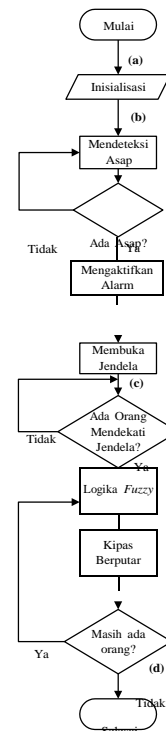
Sistem ini memiliki dua masukan, tiga keluaran, dan memiliki catuan sendiri. Otak atau mikrokontroler yang akan digunakan adalah ATMEGA16. Hasil data yang didapat dari sistem akan dikirim menggunakan modul RF ke komputer. Masukan yang diterima dari sistem ini adalah tegangan pada fotodiode dan jarak. Tegangan pada fotodiode diukur untuk mengetahui ketebalan asap yang berada dalam ruangan berdasarkan intensitas cahaya yang diterima fotodiode, perangkat ini

adalah pendeteksi asap (*smoke detector*). Jarak diukur untuk mengetahui seberapa jauh orang dari perangkat ini. *Microcontroller* berfungsi memproses nilai yang diukur dari masukan sehingga memberikan nilai tertentu kepada keluaran berdasarkan logika *fuzzy*. Keluaran yang dihasilkan sistem ini adalah kecepatan kipas, alarm, dan motor *servo*. Alarm berfungsi memberikan tanda peringatan ketika ada asap di ruangan. Motor *servo* berfungsi membuka jendela agar asap keluar. Kipas angin berfungsi menghisap asap keluar ruangan ketika sudah ada orang yang terdeteksi mendekati jendela.



Gambar 6. Cara Kerja Sistem

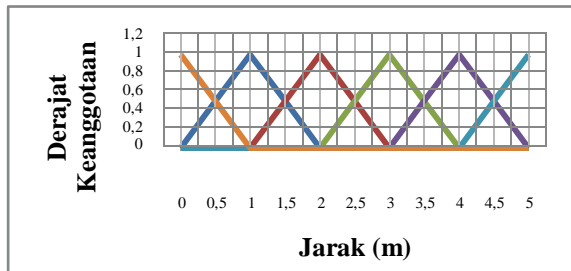
Sistem bekerja dengan melakukan inisialisasi di awal. Sistem akan mulai bekerja ketika asap terdeteksi. Ketika ada asap, alarm akan diaktifkan dan jendela dibuka. Ketika ada orang yang mendekati, sistem akan memproses ketebalan asap dan jarak ke dalam logika *fuzzy* untuk mendapatkan kecepatan yang diinginkan. Nilai kecepatan tersebut akan mengaktifkan kipas dan membuatnya berputar. Ketika masih ada orang di ruangan, sistem ini akan mengulangi proses memutar kipas dengan menggunakan logika *fuzzy*.



Gambar 7. Diagram Alir Sistem

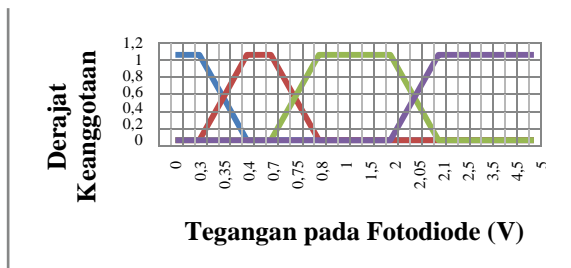
Logika *fuzzy* yang digunakan pada sistem ini terbagi dalam pembuatan himpunan *fuzzy* untuk jarak, tegangan pada fotodiode, dan kecepatan kipas,

pembuatan aturan *fuzzy* berdasarkan masukan, dan metode perhitungan *defuzzification* bagi keluaran.



Gambar 8. Himpunan *Fuzzy* Jarak

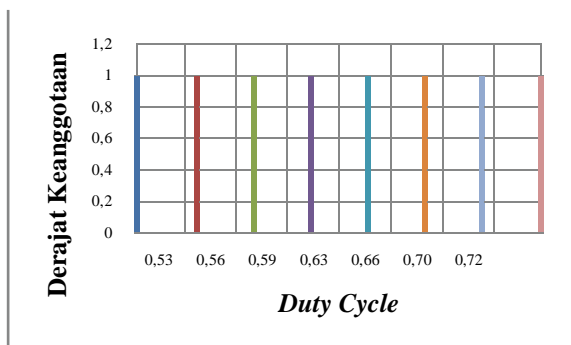
Membership function jarak dibuat setiap jarak satu meter sehingga menghasilkan lima fungsi dengan variabel linguistik berupa sangat dekat, dekat, sedang, jauh, dan sangat jauh.



Gambar 9. Himpunan *Fuzzy* Ketebalan Asap

Membership function ini dibuat berdasarkan dua prinsip kerja *photoelectric* pada pendeteksi asap. Tegangan pada fotodiode menandakan ketebalan dari asap yang diukur oleh fotodiode berdasarkan

intensitas cahaya yang diterimanya. Fungsi tidak berasap merupakan nilai-nilai yang menjadi acuan ketika tidak ada asap. Fungsi Tipis menjadi acuan nilai ketika pendeteksi asap mengalami fenomena *light scattering* yang membuat semakin banyak cahaya dipantulkan dari LED ke fotodiode. Fungsi Tebal menjadi acuan ketika terjadi fenomena *light obscuration*, dimana asap menghalangi cahaya dari LED mencapai fotodiode. Fungsi sangat tebal adalah tingkat selanjutnya dari fungsi tebal, dimana semakin banyak asap yang menghalangi cahaya.



Gambar 10. Himpunan *Fuzzy* Duty Cycle

Membership function yang terakhir adalah *duty cycle* kecepatan kipas yang merupakan keluaran dari sistem ini. Bentuk dari fungsi ini adalah diskrit, berbeda dengan fungsi untuk masukan yang berbentuk kontinu karena untuk mendapatkan nilai yang pasti dari logika *fuzzy* dibutuhkan juga keluaran yang pasti berdasarkan aturan yang dibuat.

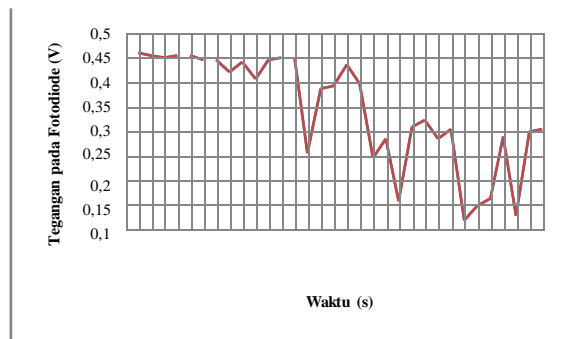
Variabel linguistik dari fungsi ini adalah nol, kecepatan 1 normal, kecepatan 2 normal, kecepatan 3 normal, kecepatan 4 normal, kecepatan 5 normal, kecepatan 5 cepat, dan kecepatan 5 sangat cepat.

Tabel 1. Aturan *Fuzzy*

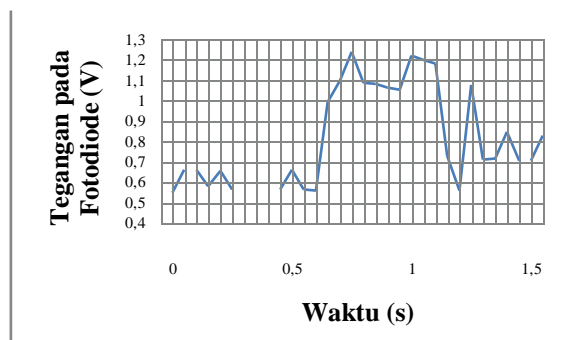
		Jarak					
		Sangat Dekat	Cukup Dekat	Dekat	Sedang	Jauh	Sangat Jauh
Ketebalan Asap	Tipis	nol	Kecepatan 1 normal	Kecepatan 2 normal	Kecepatan 3 normal	Kecepatan 4 normal	Kecepatan 5 normal
	Normal	nol	nol	nol	nol	nol	nol
	Tebal	Kecepatan 1 normal	Kecepatan 2 normal	Kecepatan 3 normal	Kecepatan 4 normal	Kecepatan 5 normal	Kecepatan 5 cepat
	Sangat Tebal	Kecepatan 2 normal	Kecepatan 3 normal	Kecepatan 4 normal	Kecepatan 5 normal	Kecepatan 4 cepat	Kecepatan 5 sangat cepat

Dari aturan di atas didapat keluaran yang diinginkan. Nilai keluaran tersebut dihitung berdasarkan metode implikasi mamdani dan metode *weighted average*.

7. Hasil Pengujian



Gambar 11. Grafik Tegangan pada Fotodiode terhadap waktu pada percobaan ke-1



Gambar 12. Grafik Tegangan pada Fotodiode terhadap waktu pada percobaan ke-2

Berdasarkan grafik di atas didapat bahwa pendeteksi asap yang dibuat dapat dengan metode *light scattering* dan *light obscuration*. Pada gambar 11, pendeteksi asap bekerja dengan metode *light scattering* dengan membuat tegangan mengecil karena semakin banyak cahaya yang diterima fotodiode. Pada gambar 12, pendeteksi asap bekerja dengan metode *light obscuration* dengan membuat tegangan membesar karena semakin sedikit cahaya yang diterima fotodiode. Perubahan tegangan yang besar dan membuat perangkat ini lebih bagus dengan metode *light obscuration* dalam mendeteksi asap.

Tabel 2. Pengujian sensor ultrasonik dalam ruangan berasap

No	Jarak oleh sensor ultrasonik (m)	Jarak dengan perhitungan manual (m)	Selisih (m)	Error (%)	Akurasi (%)
1	0,943	0,995	0,052	5,226	94,774
2	0,934	0,995	0,061	6,131	93,869
3	0,968	0,995	0,027	2,714	97,286
4	0,938	0,995	0,057	5,729	94,271
5	0,943	0,995	0,052	5,226	94,774
6	0,938	0,995	0,057	5,729	94,271
7	0,948	0,995	0,047	4,724	95,276
8	0,953	0,995	0,042	4,221	95,779
Mean				4,9625	95,0375

Dari tabel di atas didapat nilai selisih terkecil dari pengujian ini adalah 0,042 m dengan *error* sebesar 4,22%. Nilai selisih terbesar adalah 0,061 m dengan *error* sebesar 6,13%. Nilai rata-rata akurasi dari sensor ultrasonik berdasarkan pengujian ini adalah 95,04% dan rata-rata *error* adalah 4,96%. Akurasi yang cukup tinggi menyatakan bahwa sensor ini telah bekerja dengan bagus dalam mengukur jarak dalam ruangan berasap.

Dari tabel 3 didapat nilai selisih terkecil dari pengujian ini adalah 0,003 m dengan *error* sebesar 0,3%. Nilai selisih terbesar adalah 0,083 m dengan *error* sebesar 7,54%. Nilai rata-rata akurasi dari sensor ultrasonik berdasarkan pengujian ini adalah 97,18% dan rata-rata *error* adalah 2,82%. Akurasi yang cukup tinggi menyatakan bahwa sensor ini telah bekerja dengan bagus dalam mengukur jarak.

Tabel 3. Pengujian Sensor Ultrasonik Tanpa Asap

No	Jarak oleh sensor ultrasonik (m)	Jarak dengan perhitungan manual (m)	Selisih (m)	Error (%)	Akurasi (%)
1	1,07	1,1	0,03	2,727	97,273
2	1,07	1,1	0,03	2,727	97,273
3	1,183	1,1	0,083	7,545	92,455
4	1,149	1,1	0,049	4,455	95,545
5	1,061	1,1	0,039	3,545	96,455
6	1,872	1,8	0,072	4,000	96,000
7	1,833	1,8	0,033	1,833	98,167
8	1,828	1,8	0,028	1,556	98,444
9	1,843	1,8	0,043	2,389	97,611
10	1,838	1,8	0,038	2,111	97,889
11	0,973	1	0,027	2,700	97,300
12	0,997	1	0,003	0,300	99,700
13	0,968	1	0,032	3,200	96,800
14	0,958	1	0,042	4,200	95,800
15	0,943	1	0,057	5,700	94,300
16	2,063	2	0,063	3,150	96,850
17	2,072	2	0,072	3,600	96,400
18	2,058	2	0,058	2,900	97,100
19	2,063	2	0,063	3,150	96,850
20	2,326	2,3	0,026	1,130	98,870
21	2,268	2,3	0,032	1,391	98,609
22	2,341	2,3	0,041	1,783	98,217
23	2,351	2,3	0,051	2,217	97,783
24	2,346	2,3	0,046	2,000	98,000
25	2,307	2,3	0,007	0,304	99,696
Rata-Rata				2,825	97,175

Tabel 4. Pengujian sistem keseluruhan

No	Tegangan pada Fotodiode (V)	Jarak (m)	PWM dari microcontroller	PWM dari perhitungan manual	Selisih	Error (%)	Akurasi (%)
1	0,938	1,07	52	51	1	1,9608	98,039
2	1,065	1,183	52	52	0	0,0000	100,000
3	1,139	1,149	52	51	1	1,9608	98,039
4	1,056	1,061	52	51	1	1,9608	98,039
5	1,105	1,095	52	51	1	1,9608	98,039
6	1,158	1,124	52	51	1	1,9608	98,039
7	1,129	1,095	52	51	1	1,9608	98,039
8	1,178	1,251	52	52	0	0,0000	100,000
9	1,056	1,09	52	51	1	1,9608	98,039
10	1,022	1,173	52	52	0	0,0000	100,000
11	1,046	1,09	52	51	1	1,9608	98,039
12	1,056	1,075	52	51	1	1,9608	98,039
13	0,978	1,041	52	51	1	1,9608	98,039
14	0,914	1,295	49	52	3	5,7692	94,231
15	0,758	1,061	48	49	1	2,0408	97,959
16	0,723	1,163	48	48	0	0,0000	100,000
17	0,782	1,065	51	50	1	2,0000	98,000
18	0,797	1,075	52	51	1	1,9608	98,039
19	0,591	1,085	46	46	0	0,0000	100,000
20	0,718	1,07	48	47	1	2,1277	97,872
21	0,753	1,109	49	49	0	0,0000	100,000
22	0,787	1,09	51	50	1	2,0000	98,000
23	0,787	1,095	51	50	1	2,0000	98,000
24	0,699	1,246	46	46	0	0,0000	100,000
25	0,674	1,095	46	46	0	0,0000	100,000
26	0,684	1,08	46	46	0	0,0000	100,000
27	0,826	1,256	52	52	0	0,0000	100,000
28	0,694	1,09	46	46	0	0,0000	100,000
29	0,694	1,075	46	46	0	0,0000	100,000
30	0,728	1,095	48	48	0	0,0000	100,000
31	0,743	1,061	49	48	1	2,0833	97,917
32	0,816	2,502	56	56	0	0,0000	100,000
33	0,806	2,512	56	56	0	0,0000	100,000
34	0,806	2,478	56	55	1	1,8182	98,182
35	0,806	2,434	56	55	1	1,8182	98,182
Rata-Rata						1,2350	98,765

Tabel di atas merupakan campuran dari hasil beberapa pengujian. sistem ini menghasilkan error terbesar dengan nilai error 5,769% dengan selisih nilai PWM 3 dan terkecil dengan nilai 0% dengan selisih nilai PWM 0. Dari hasil pengujian, sistem ini memiliki nilai rata-rata error yang kecil sebesar 1,235% dan tingkat akurasi sebesar 98,765%. Ini menandakan logika *fuzzy* telah bekerja dengan baik. Berdasarkan tabel 5, Sistem telah dapat mengeluarkan asap dengan rata-rata waktu 11,8 detik dan dapat bekerja untuk kondisi konsentrasi CO yang berbeda-beda. Akan tetapi, waktu yang diukur hanya berdasarkan ketebalan asap yang terukur pendeteksi asap sehingga belum tentu akurat jika dibandingkan dengan pengukuran berdasarkan konsentrasi CO dalam ruangan.

Tabel 5. Pengujian Sistem Mengeluarkan Asap pada Miniatur Ruangan

Percobaan ke-	Waktu yang Dibutuhkan untuk Mengeluarkan Asap (s)
1	7,38
2	13,49
3	15,09
4	12,97
5	10,06
Mean	11,798

8. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pendeteksi Asap yang telah dibuat dapat bekerja dengan kedua metode *photoelectric*, yaitu: *light obscuration* dan *light scattering*.
2. Pendeteksi Asap yang telah dibuat dengan LED dan fotodiode berukuran 3 mm lebih baik untuk

beroperasi dengan metode *light obscuration* daripada metode *light scattering*.

3. Pendeteksi asap dengan cara kerja *photoelectric* tidak dapat digunakan berulang kali karena asap yang semakin banyak menempel pada fotodiode.
4. Sensor Ultrasonik HRLV-MaxSonar-EZ0 memiliki rata-rata akurasi sebesar 97,17% dalam mengukur jarak antara sensor objek di depannya ketika tidak ada asap dan memiliki rata-rata akurasi sebesar 95,04% dalam ruangan berasap.
5. Program logika *fuzzy* yang telah dibuat untuk mengatur kecepatan kipas mampu menghasilkan keluaran sesuai yang diinginkan dengan akurasi sebesar 98,765% dan sistem dapat bekerja dengan rata-rata waktu 11,8 detik dalam mengeluarkan asap dalam miniature ruangan.

Terdapat beberapa saran yang diberikan untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini. Saran-saran tersebut adalah sebagai berikut.

1. Untuk mendapatkan hasil penelitian terhadap pendeteksi asap yang berfungsi lebih baik dapat digunakan LED dan fotodiode berdiameter 5 mm dengan catuan 9-12 V karena dengan ukuran yang lebih besar dapat dihasilkan intensitas cahaya yang lebih besar dan daerah untuk menangkap cahaya pada fotodiode semakin besar.
2. Untuk menghemat ruang bagi rangkaian elektronika, Sistem Minimum untuk *microcontroller* dapat dibuat dengan desain sendiri dengan *microcontroller* dan komponen yang lebih kecil.
3. Untuk mengurangi *noise* pada sensor ultrasonik HRLV-MaxSonar-EZ0, Kapasitor bernilai 100 μ F dipasang di antara catuan VCC dan *ground* berdasarkan *datasheet*-nya.
4. Untuk mengetahui konsentrasi CO dalam ruangan dapat ditambah alat ukur berupa sensor dalam mengukur konsentrasi CO dalam ruangan sehingga lebih tepat dalam membandingkan waktu dalam mengeluarkan asap dan lama waktu orang dapat bertahan menghirup gas CO.

Daftar Pustaka

- [1] Holstege, Christopher P. *Smoke Inhalation*. www.emedicinehealth.com/smoke_inhalation/article_em.htm. Diakses pada 5 Mei 2016.
- [2] The National Institute of Standards and Technology, "Smoke Production and Properties," 1995, www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fire95/PDF/f95126.pdf
- [3] *Pembakaran*. <https://id.wikipedia.org/wiki/Pembakaran>. Diakses pada [18 Juni 2016].
- [4] Marsar, Stephen. *Survivability Profiling: How Long Can Victims Survive in a Fire?* <http://www.fireengineering.com/articles/2010/07/survivability-profiling-how-long-can-victims-survive-in-a-fire.html>. Diakses pada [18 Juni 2016].
- [5] *Prinsip Kerja Fire Alarm Smoke Detector*. www.bromindo.com/prinsip-kerja-fire-alarm-smoke-detector/ Diakses pada [5 Mei 2016].
- [6] Khairi, Ikhwanul. *Prinsip Kerja Photodiode*. ikhwanpccr.blogspot.co.id/2009/12/prinsip-kerja-photodiode.html. Diakses pada [5 Mei 2016].
- [7] Kusumaningrum, Pratiwi B. E. *Perancangan dan Implementasi Sistem Pemanggil Perawat di Rumah Sakit Menggunakan Wireless NRF24LU1 yang Diintegrasikan dengan Android*. Tugas Akhir Universitas Telkom, 2015.
- [8] STMIK AMIKOM Yogyakarta. *Logika Samar (Fuzzy Logic)*. http://elearning.amikom.ac.id/index.php/download/materi/190302125-ST045-10/2012/01/20120106_LOGIKA%20FUZZY.pdf. Diakses pada [20 Januari 2013].
- [9] itlab.ee.nsysu.edu.tw/ch/chap/102a_ai/Fuzzy%20Inference%20and%20Reasoning.pptx. Diakses pada [5 Mei 2016].
- [10] Ross, Timothy J. 1995. *FUZZY LOGIC WITH ENGINEERING APPLICATIONS*. McGraw-Hill, Inc. Singapura.
- [11] *Cara Kerja Sensor Ultrasonik, Rangkaian, dan Aplikasinya*. www.elangsakti.com/2015/05/sensor-ultrasonik.html. Diakses pada [5 Mei 2016].
- [12] *Mechanical Fan*. https://en.wikipedia.org/wiki/Mechanical_fan. Diakses pada [5 Mei 2016].
- [13] *Prinsip Kerja Motor Listrik DC*. artikel-teknologi.com/prinsip-kerja-motor-listrik/ Diakses pada [5 Mei 2016].
- [14] www.learnengineering.org/2014/10/Brushless-DC-motor.html. Diakses pada [5 Mei 2016].
- [15] www.hobbyking.com/hobbyking/store/uploads/44172390X371547X37.pdf. Diakses pada [20 Mei 2016].
- [16] http://www.maxbotix.com/documents/LV-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf. Diakses pada [20 Mei 2016].
- [17] Departemen Pendidikan Nasional. 2008. *Kamus Besar Bahasa Indonesia Pusat Bahasa Edisi Keempat*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [18] *Pyrolysis*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Pyrolysis>. Diakses pada [18 Juni 2016].